



Les types de circulation atmosphérique et la pollution par l'ozone dans les Alpes-Maritimes

Nicolas Martin, Pierre Carrega

► To cite this version:

Nicolas Martin, Pierre Carrega. Les types de circulation atmosphérique et la pollution par l'ozone dans les Alpes-Maritimes. Journées interdisciplinaires de la Qualité de l'Air, Jan 2007, Lille, France. pp.10. hal-00419489

HAL Id: hal-00419489

<https://hal.science/hal-00419489>

Submitted on 24 Sep 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les types de circulation atmosphérique et la pollution par l'ozone dans les Alpes-Maritimes.

N. MARTIN, P. CARREGA

La pollution de l'air est dépendante des conditions climatiques, spécialement la pollution par l'ozone. Les variables météorologiques telles que la température, la pression atmosphérique, la force du vent ou encore l'intensité du rayonnement solaire font partie des facteurs influençant la concentration d'ozone troposphérique ; certaines agissent sur les processus de formation de ce polluant secondaire, d'autres sur les mécanismes de transport et de dispersion dans les basses couches de l'atmosphère. Ainsi la qualité de l'air varie au grés du temps en fonction des valeurs que prennent les variables climatiques et en fonction de l'intensité des émissions de polluants primaires. Toutefois les variations du temps suivent des rythmes cycliques tels que les saisons et les conditions météorologiques sont parfois répétitives ou persistantes ; ceci permet de grouper des jours qui se ressemblent sans qu'ils soient nécessairement successifs. Existe-t-il alors des situations synoptiques favorables à une bonne ou à une mauvaise qualité de l'air ? En d'autres termes peut-on définir des types de circulation atmosphérique de la pollution de l'air ?

Les notions de types de circulation atmosphériques et de types de temps sont souvent mal définies en climatologie ; pourtant il existe une différence d'un point de vue épistémologique. Ces deux termes sont associés à une confusion entre la méso-échelle (quelques dizaines voire une centaine de km) et la macro-échelle (plusieurs milliers de km) qui correspond plutôt à l'échelle des types de circulation (Douguedroit, 2004). Plus l'on grandit l'espace étudié et plus on se détache inéluctablement du type de temps pour se rapprocher du type de circulation. La circulation générale engendre le type de temps, ou plutôt se situe en amont, un même type de circulation ne produit pas toujours le même type de temps. Parfois l'inverse est également vrai : un temps couvert à forte nébulosité caractérise des circulations anticycloniques, comme cycloniques (Carrega, 2004).

Ainsi la démarche selon laquelle est étudiée la pollution par l'ozone ici est originale. En effet l'objectif est de définir des types de circulation en relation avec les concentrations d'ozone localement ; donc d'établir des liens entre des phénomènes macro-échelle et méso-échelle. Deux phénomènes d'échelles distinctes sont-ils liés ? Quelle est la part d'influence du phénomène continental sur le local ? Dans quelle mesure les liens sont-ils pertinents ? La méthode utilisée est inductive : par l'intermédiaire des statistiques exploratoires des types de circulation vont être dégagés. Les données météorologiques sont issues des ré-analyses du NCEP et les concentrations d'ozone sont fournies par l'agence agréée à la surveillance de la qualité de l'air dans l'est de la région PACA, Qualitair (aujourd'hui devenue Atmo PACA depuis la fusion avec Airmarais).

1. Bases de données et méthodologie.

1.1 Données de pollution de l'air.

L'AASQA Qualitair présente dans les Alpes-Maritimes depuis plus de dix ans, enregistre les concentrations de plusieurs polluants atmosphériques dont l'ozone. Les stations de mesures sont essentiellement regroupées dans la partie sud du département à l'exception des stations du Cians et de l'Adréchas, respectivement

situées à Beuil et à La Colmiane (<http://www.atmo-qualitair.net/qualitair/index.html>). Le but afin d'établir des relations entre les taux d'ozone et les données de circulation générale, est d'identifier la plus longue période de mesure commune à ces deux séries de données. Toutefois, plus que l'aspect temporel c'est l'aspect spatial qui semble prioritaire : il s'agit donc de parvenir à un compromis entre un nombre maximal de stations, proposant des taux d'ozone sur le même intervalle de temps, et la disponibilité des données de ré-analyses ayant un lien avec les concentrations d'ozone. Ainsi neuf stations de surveillance de l'ozone sont sélectionnées sur une période de trois ans, de 2002 à 2004, offrant trois saisons photochimiques (avril à septembre). Il s'agit des deux stations de montagnes précitées, puis des stations de Cannes, Antibes, Blausasc et de trois capteurs niçois, ceux de Las Planas, Cessole et Botanique. Les valeurs d'ozone enregistrées dépendent du type d'environnement ; les capteurs placés en milieu urbain verront leurs pics érodés en raison de réactions de titration entre l'ozone et le monoxyde d'azote.

Comme rappelé ci-dessus, la période de l'année propice à l'étude de l'ozone s'étale d'avril à septembre puisque ce polluant dépend avant tout de l'intensité du rayonnement ultra-violet. Après confrontation des moyennes horaires mensuelles établies pour chaque station (non montrées ici), deux sous périodes se distinguent ; les mois d'avril, mai et septembre semblent enregistrer des moyennes horaires comparables et inférieures à celles des mois de juin, juillet et août. Un comportement différent ne suppose pas des mécanismes différents entre les variables météorologiques et l'ozone, mais des situations synoptiques distinctes. Par conséquent les types de circulation seront définis pour chacun des deux trimestres.

Pour calculer l'intensité des relations entre les niveaux de pollution par l'ozone et les données du NCEP, on a confronté les percentiles 98 (P98) des valeurs horaires journalières d'ozone aux variables météorologiques. Sur l'ensemble de la période d'étude (avril 2002 à septembre 2004) certaines lacunes apparaissent dans le tableau des concentrations d'ozone. Celles-ci sont comblées à partir d'une analyse en composantes principales (ACP) effectuée sur l'ensemble des stations. Par un processus itératif les valeurs manquantes sont reconstituées (<http://cnfg.univ-paris1.fr/com/clima2.htm>). Cette technique permet de compléter les lacunes en se servant de la partie la plus fiable du tableau de données. Elle est nettement plus avantageuse qu'une simple technique de régression où le choix des variables explicatives devient vite inextricable et où les erreurs ponctuelles ou systématiques affectant certaines observations sont répétées (Laborde, 1984).

1.2 Données de ré-analyses du NCEP.

Ces données journalières sont disponibles à une résolution latitudinale et longitudinale de 2,5° dans la plupart des cas. Cette résolution permet donc de travailler à macro-échelle. Ainsi dans l'élaboration des types de circulation en relation avec les niveaux de pollution par l'ozone dans le département des Alpes-Maritimes, la fenêtre d'étude utilisée s'étend de 30° à 60° de latitude nord et de 30° W à 30°E de longitude (fig. 1). Ce choix est motivé avant tout pour que le département soit à la fois au centre de l'espace et légèrement décalé vers l'est : la circulation générale étant orientée d'ouest en est à cette latitude, il est primordial de tenir compte des champs atmosphériques ré-analysés sur le proche Atlantique. Même s'ils n'influencent pas directement les taux d'ozone dans la région niçoise, ils se situent fréquemment en amont de la circulation atmosphérique qui la concerne.

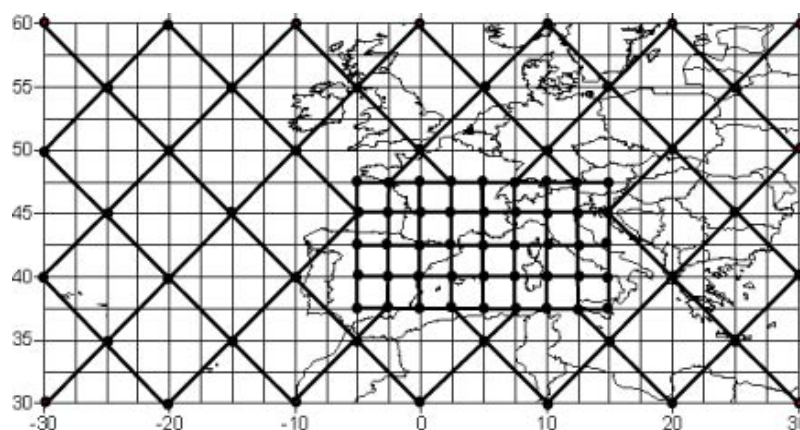


Figure 1 Fenêtre européenne de 86 points de grille utilisée pour les calculs (en gras).

Les calculs menés ne prennent pas en compte l'ensemble des points de grille disponibles afin d'alléger le temps nécessaire à l'exécution des opérations. Une résolution maximale est conservée au centre de la carte tandis que des points sont supprimés ailleurs afin de pondérer plus fortement les mailles proches du sud-est de la France. De nombreuses fenêtres d'étude ont été testées avec des résolutions différentes. La figure 1 présente en gras le maillage qui a procuré les meilleurs résultats (86 points de grille).

1.3 Relation entre les champs atmosphériques ré-analysés et les concentrations d'ozone.

Quelles sont les variables météorologiques pertinentes pour définir des types de circulation atmosphérique par rapport à la pollution par l'ozone ? Des coefficients de corrélation sont calculés entre le percentile 98 des valeurs horaires journalière d'ozone et la donnée NCEP journalière la plus proche du département. Deux choix sont possibles : soit le point de coordonnées 42,5°N/7,5°E, soit le point 45°N/7,5°E. Malheureusement la région niçoise est à équidistance de ces deux nœuds de grille, l'un étant situé en mer et l'autre dans le Piémont italien.

Les variables climatiques testées sont multiples : les altitudes des geopotentiels 1000, 925, 850, 700, 600 et 500 hPa ; la température, l'humidité relative, la vorticité relative, la vitesse et la direction du vent, le flux solaire, la couverture nuageuse sont aussi testés et ceci pour tous les geopotentiels compris entre 1000 et 500 hPa. Quatre variables météorologiques sont relativement bien corrélées avec les taux d'ozone : l'altitude du geopotentiel 500 hPa, la vorticité relative à 700 hPa, l'humidité relative et la vitesse du vent à 1000 hPa. Les deux premières variables agissent sur la stabilité de l'air et donc sur la dispersion verticale des polluants. L'humidité relative contrôle en partie l'intensité des réactions photochimiques. Enfin la vitesse du vent favorise ou non la dispersion horizontale de l'ozone. Le point de latitude 45°N est le plus corrélé avec les données d'ozone. Seuls ces prédictors sont retenus puisque d'une part ils ont obtenu les meilleurs coefficients de corrélation avec les valeurs d'ozone (de l'ordre de 0,3 à 0,5 en valeur absolue pour l'ensemble des stations de mesures d'ozone) et parce que d'autre part ils ne sont que faiblement redondants.

1.4 Méthodologie adoptée : les statistiques exploratoires.

Qu'il s'agisse du type de circulation ou du type de temps, le recours à une technique de classification est inévitable afin de déterminer les limites de chaque

« type ». Le choix de la méthode suivie n'est pas sans conséquences : les résultats ne seront pas les mêmes selon la technique employée. De manière générale l'objectif commun à toute procédure de classification est de mettre en place des groupes dont la variance intra-groupe est minimale et dont la variance inter-groupes est maximale.

La combinaison analyse en composantes principales (ACP) et classification ascendante hiérarchique (CAH) est devenue courante dans l'établissement des types de temps et des types de circulation avec des variantes dans le choix de la méthode de classification. La méthodologie adoptée dans ce travail est le résultat d'un grand nombre d'essais. La première étape consiste toujours à effectuer une ACP sur la matrice de données où les variables sont les points de grille de la fenêtre européenne (cf. fig. 1). Quatre ACP sont menées, une pour chaque variable climatique sélectionnée précédemment. Dans chaque cas les composantes principales sont retenues selon le test de Kaiser (seules les composantes dont la valeur propre est supérieure à 1 sont conservées). Puis l'ensemble des composantes principales issues des quatre ACP sont réunies dans une nouvelle matrice soumise à une classification. C'est au cours de cette deuxième étape que différents algorithmes ont été testés : « k-means clustering » (non hiérarchique), CAH selon différentes méthodes d'agrégation (lien moyen, méthode de Ward) et classification mixtes c'est-à-dire combinant à la fois une technique hiérarchique et non hiérarchique. La CAH selon le critère de Ward semble produire les meilleurs résultats (écarts-type intra classe les plus faibles) ; cette méthode est donc adoptée pour élaborer les types de circulation en relation avec les taux d'ozone des Alpes-Maritimes.

2. Les types de circulation et la qualité de l'air dans les Alpes-Maritimes.

Afin de mesurer la pertinence des types de circulation mis en valeur par la classification des données météorologiques, une autre classification est effectuée sur les P98 d'ozone des stations du département. Les classes d'ozone ainsi produites peuvent être comparées aux valeurs d'ozone associées aux types de circulations. Ces deux procédures ne s'accordent pas véritablement au premier abord, mais en regroupant certaines classes de circulation ayant le même impact sur les niveaux d'ozone alors la similitude entre les deux démarches est satisfaisante. La classification des taux d'ozone sert ainsi de référence pour valider les types de circulation.

2.1 Classification des taux d'ozone au cours des trois saisons photochimiques de 2002 à 2004.

Comme expliqué précédemment, chaque saison photochimique a été divisée en deux trimestres, avril-mai-septembre (AMS) et juin-juillet-août (JJA). Deux CAH selon la méthode de Ward sont donc menées. Cette technique, en plus d'être apparemment la plus adaptée à notre problématique, facilite le choix du nombre de classes par l'intermédiaire de l'arbre de classification. Le but est de produire suffisamment de classes afin d'isoler chaque type de comportement de la pollution par l'ozone, mais il n'est pas souhaitable de sélectionner un trop grand nombre de classes par souci de clarté. Par l'observation des dendrogrammes cinq classes par trimestre sont retenues (fig. 2). On aurait également pu choisir sept classes pour JJA mais les niveaux d'ozone associés n'étaient pas aussi distincts. La classe des plus forts taux d'ozone regroupe de nombreux jours d'août 2003 (fig. 3).

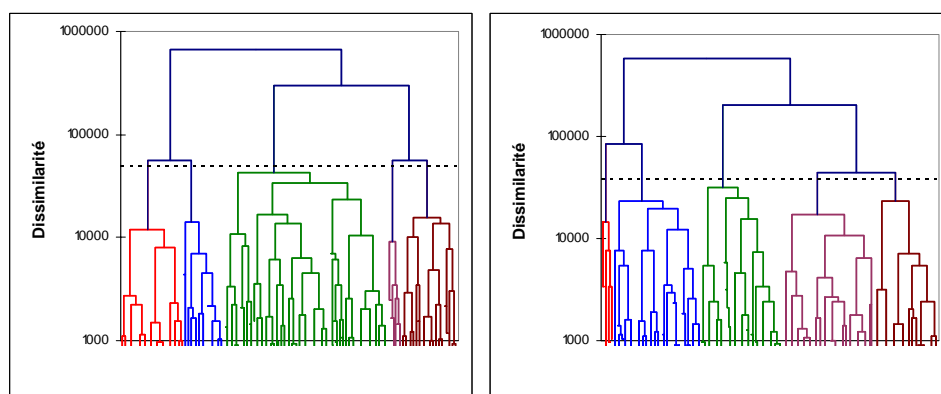


Figure 2. Dendrogrammes des CAH sur les taux d'ozone dans les neuf stations des Alpes-Maritimes pour les trimestres JJA (à gauche) et AMS (à droite).

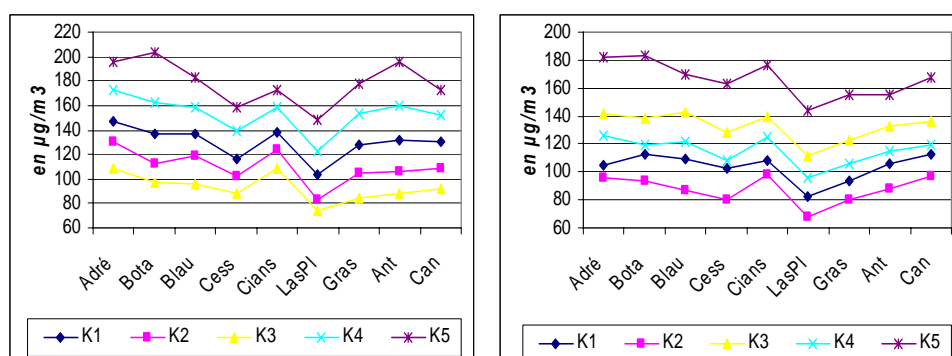
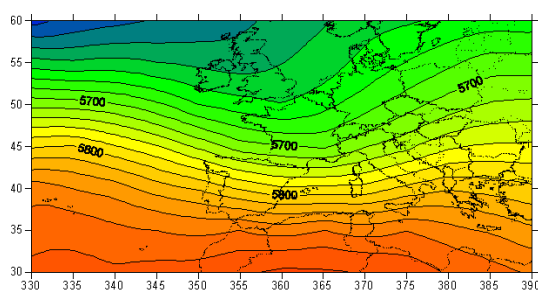
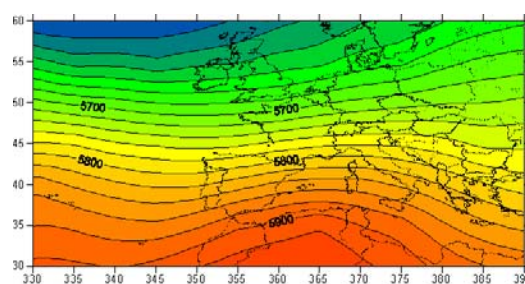


Figure 3. Les cinq classes d'ozone pour JJA (à gauche) et AMS (à droite) dans les neuf stations de mesures des Alpes-Maritimes.

Afin de voir à quel type de circulation correspond chaque classe d'ozone, les cartes des valeurs moyennes du géopotentiel 500 hPa associées sont très démonstratives. Ainsi en allant de la classe des plus faibles taux à celle marquée par une forte pollution par l'ozone au cours de JJA, la situation synoptique passe d'une circulation dépressionnaire sur l'ensemble de l'Europe à un blocage anticyclonique recouvrant le continent (fig. 4). Le schéma général est le même pour AMS mais il n'est pas présenté ici. La classe K3 est marquée par un talweg axé de la Grande-Bretagne à la Méditerranée. La qualité de l'air est très bonne puisque la masse d'air est ascendante. K2 est caractérisée par un flux d'ouest rapide associé à une faible pollution atmosphérique. La classe d'ozone K1 présente une configuration synoptique légèrement anticyclonique, les taux sont plus élevés. K4 qui montre des concentrations d'ozone plus fortes voit une dorsale anticyclonique recouvrir l'Europe de l'ouest. Enfin K5 est l'illustration d'un épisode de pollution photochimique avec une situation de blocage anticyclonique sur l'ensemble du continent.



K3



K2

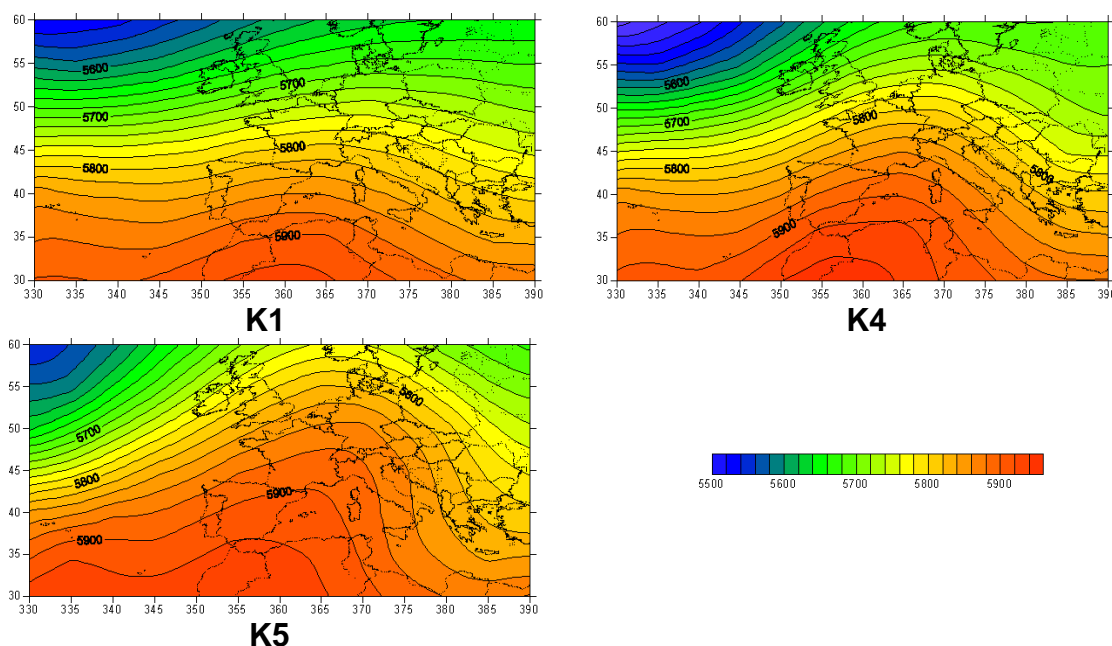


Figure 4. Configurations moyennes du geopotentiel 500 hPa associées aux classes d'ozone issues de la CAH sur les taux d'ozone dans les neuf stations de mesures des Alpes –Maritimes en JJA de 2002 à 2004.

Dans quelle mesure ces configurations moyennes du geopotentiel 500 hPa correspondent-elles aux classes de circulation mises en valeur par une CAH sur les variables climatiques cette fois ? En suivant une logique inverse arrive-t-on aussi à des valeurs moyennes d'ozone par type de circulation identiques aux classes d'ozone construites ici ?

2.2 Les types de circulation atmosphérique.

La classification porte sur trois saisons photochimiques, celles de 2002, 2003 et 2004. Pour le trimestre AMS, 273 jours sont concernés et 276 jours pour le trimestre JJA. Chaque matrice de données correspondant à une variable météorologique est soumise à une ACP ; les composantes principales retenues selon le test de Kaiser forment alors deux nouvelles matrices de 79 et de 74 variables respectivement pour JJA et AMS. A partir des deux nouveaux tableaux de données obtenus suite à ces ACP sur chaque trimestre, on effectue deux CAH selon la méthode de Ward. Le choix du nombre de classes est décidé en fonction des dendrogrammes : sept classes sont retenues pour JJA et six pour AMS (fig. 5). Pour JJA le choix a également été guidé par le souhait d'isoler l'épisode de canicule d'août 2003 exceptionnel à la fois d'un point de vue climatique et photochimique. Afin d'illustrer les différents types de circulation issus de ce calcul, la variable météorologique choisie est le geopotentiel 500 hPa. De cette manière une comparaison rapide avec les configurations moyennes de cette même variable associée aux classes d'ozone pourra être établie. Seuls les résultats pour JJA sont exposés. Les sept types de circulation couvrent l'ensemble des configurations synoptiques, de la situation dépressionnaire, au blocage anticyclonique sur l'Europe entière (fig. 6).

Dans le paragraphe précédent sur la classification des taux d'ozone, nous avons étudié quelles étaient les configurations moyennes du geopotentiel 500 hPa associées à chaque classe d'ozone. Regardons maintenant quelles configurations de pollution par l'ozone correspondent aux classes de circulation atmosphérique ci-

dessous (fig. 7). Globalement pour JJA chaque type de circulation produit un contexte photochimique particulier. Toutefois les classes L4, L5, L1 et L3 offrent des niveaux d'ozone moyens assez proches. Pour AMS la classification des variables climatiques ne produit pas, dans ce cas, de taux moyens d'ozone très distincts.

La classe L2, représentant une circulation dépressionnaire, présente une qualité de l'air très satisfaisante avec des taux d'ozone ne dépassant pas les $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur l'ensemble du réseau. L6 correspond à une situation synoptique encore favorable à de faibles niveaux de pollution atmosphérique. Les deux classes suivantes, L3 et L1, comparables synoptiquement, offrent des taux d'ozone moyens quasi similaires. La même remarque est valable pour L4 et L5. Enfin la classe de circulation atmosphérique L7 correspond à 13 jours d'août 2003 (première moitié du mois) qui ont été marqués par un très fort épisode photochimique sur l'Europe entière.

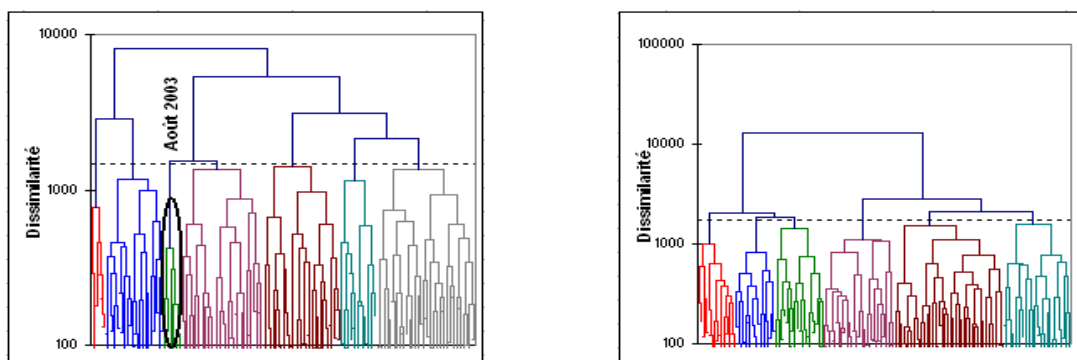
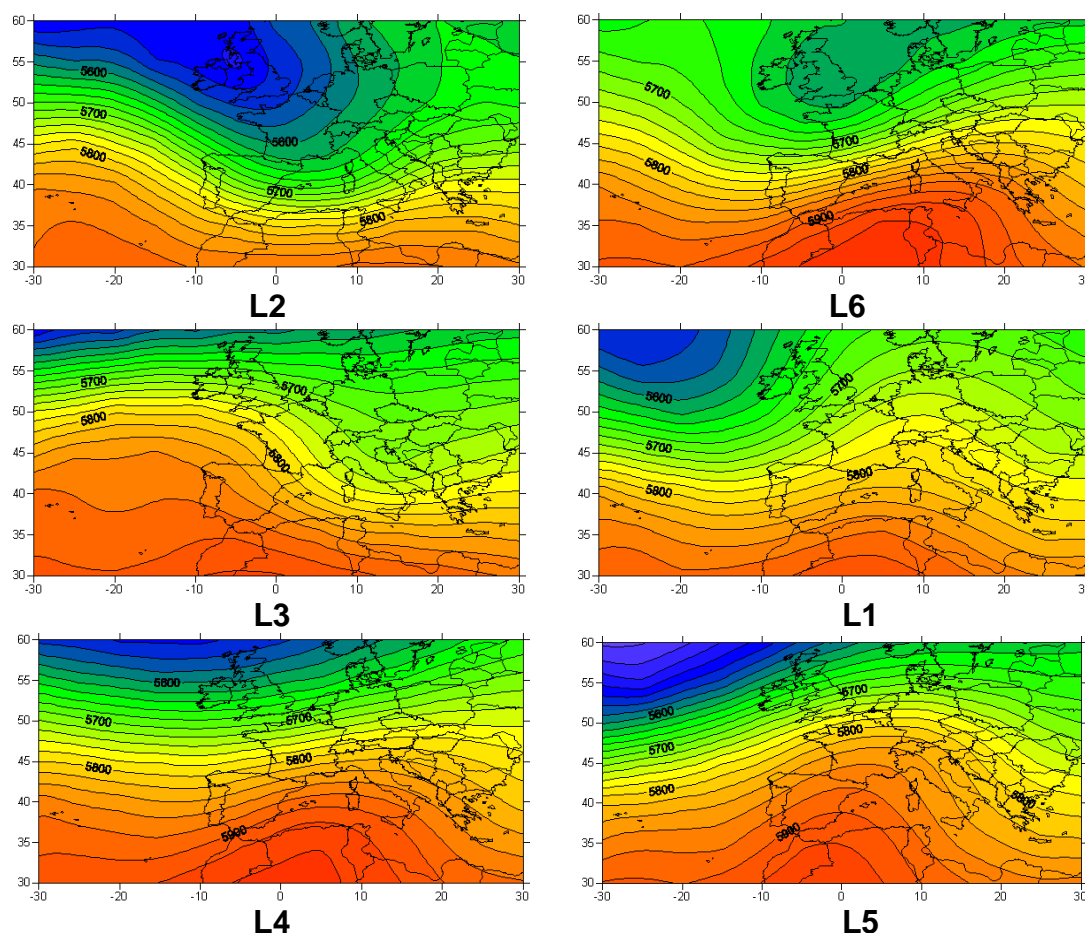


Figure 5. Arbres de classification des CAH pour JJA (à gauche) et AMS (à droite) établies sur les variables climatiques du NCEP de 2002 à 2004.



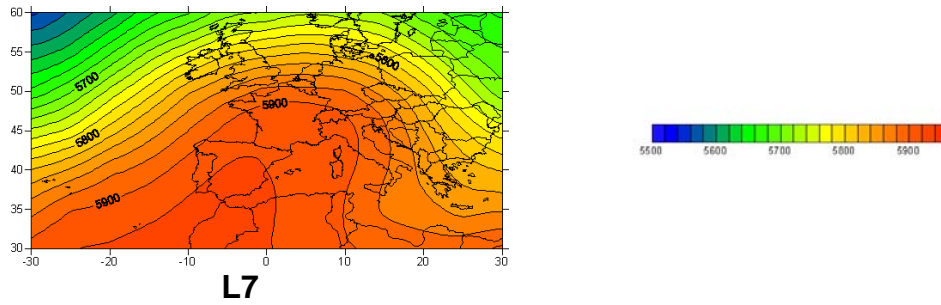


Figure 6. Classes de géopotential 500 hPa issues de la CAH sur les variables climatiques ré-analysées en JJA de 2002 à 2004.

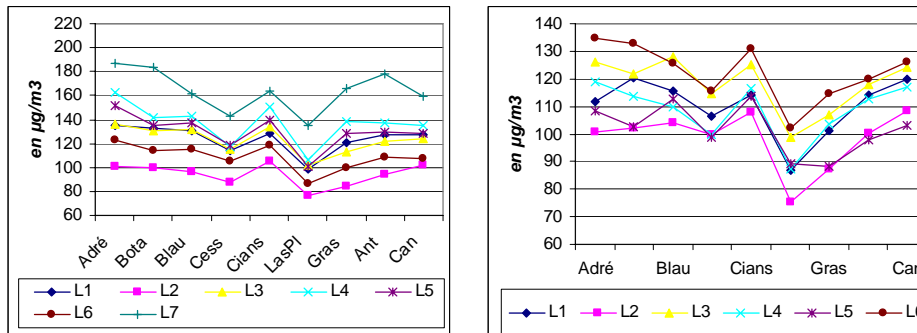


Figure 7. Niveaux moyens d'ozone dans les stations de mesures de Qualitair associés aux types de circulation atmosphérique issus de la classification sur les variables climatiques du NCEP de 2002 à 2004 (JJA à gauche et AMS à droite).

2.3 Correspondance entre la classification des taux d'ozone et la classification des types de circulation pour les mois de juin, juillet et août de 2002 à 2004.

Le nombre de classe identifié dans chacune des démarches n'est pas le même. La classification des taux d'ozone a produit cinq classes tandis que celle des types de circulation en a créé sept. Mais quatre de ces dernières présentent des profils d'ozone assez proches voire même entremêlés (cf. fig. 7). Or la comparaison des cartes de variables climatiques associées (seul le géopotential est exposé ici), permet de procéder à des regroupement entre les classe L1 et L3 (L1') d'une part et entre L4 et L5 (L4') d'autre part. En effet, le quart sud-est de la France est soumis dans les classes L1 et L3 à des configurations intermédiaires et l'impact sur les niveaux de pollution par l'ozone est pratiquement identique. L4 et L5 sont également semblables et leur regroupement ne modifie que peu leurs configurations moyennes.

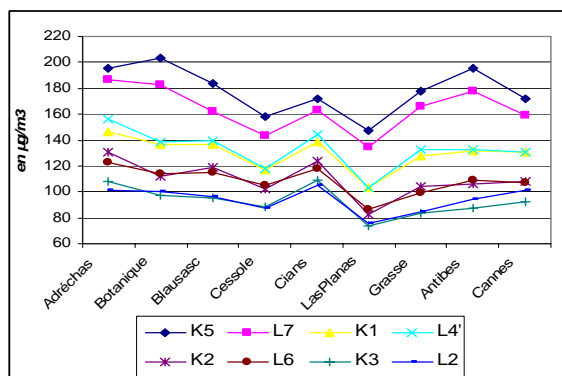


Figure 8. Correspondance des classes d'ozone et des profils moyens d'ozone associés aux types de circulation pour JJA de 2002 à 2004.

Ainsi cinq classes représentent les types de circulation construits à partir de quatre variables climatiques jugées pertinentes pour expliquer les concentrations d'ozone dans le département des Alpes-Maritimes.

Maintenant que le nombre de classes issues de chaque démarche est identique, la comparaison est possible. Afin de valider la pertinence de la classification des types de circulation en relation avec la pollution par l'ozone, les niveaux moyens d'ozone associés à chaque type de circulation sont juxtaposés aux classes

d'ozone précédemment établies (fig. 8). La classe d'ozone K5 présente une configuration synoptique moyenne comparable à la classe de circulation L7 ; cette dernière est associée à des niveaux d'ozone aussi élevés que ceux de la classe K5. Le même raisonnement est possible pour K3 et L2. Enfin, les classes K2 et L6 sont aussi très proches, tout comme K1 et L3'. Toutefois les correspondances s'arrêtent ici puisque K4 et L1' ne s'ajustent pas deux à deux.

Ainsi la classification des types de circulation liée à la pollution par l'ozone paraît assez performante puisque quatre des cinq classes produites correspondent bien à un niveau d'ozone qui peut être identifié en analysant directement les concentrations de ce polluant. Cette conclusion porte sur une période d'étude plutôt courte. Afin de valider ce travail il convient alors d'étudier la pollution par l'ozone sur une séquence de temps non prise en compte dans l'élaboration de la classification des types de circulation.

3. Validation des types de circulation liés à l'ozone en septembre 2006.

L'étape de validation est essentielle dans toute recherche. Elle permet d'émettre un jugement sur la qualité des résultats trouvés. Dans notre cas il serait pédagogique d'illustrer nos propos par plusieurs exemples « choisis » lors des étés 2005 et 2006 qui n'ont pas été incorporés dans la classification des types de circulation ; juillet 2006, marqué par des conditions nettement anticycloniques, subit une forte pollution par l'ozone tandis que le mois d'août, dépressionnaire et frais, fut caractérisé par de faibles taux. Toutefois cet exposé pourrait paraître quelque peu ennuyeux pour le lecteur. Ainsi nous préférons directement mettre en évidence les lacunes de la classification élaborée précédemment. Une seule période suffit pour déceler les failles de celle-ci : du 3 au 5 septembre 2006.

Bien que ne faisant pas partie du trimestre JJA, le début du mois de septembre connaît assez régulièrement des épisodes de pollution photochimique. Les facteurs atmosphériques responsables sont évidemment les mêmes qu'en plein cœur de l'été : blocage anticyclonique et faible ventilation entre autres. Mais ces conditions présentes du 3 au 5 septembre 2006 ne se sont pas traduites par de forts taux d'ozone (fig. 9 et 10). Ce constat étonnant est dû à des conditions météorologiques locales particulières. En effet au cours du mois d'août 2006 le temps frais provoqua une forte chute de la température de l'eau de mer (de 28°C à 18°C pour la bouée Côte d'Azur de Météo-France). Ce facteur, combiné à une très forte subsidence de l'air dès le 1^{er} septembre, est probablement en partie responsable d'importantes entrées maritimes persistantes sur le littoral de la région de Nice (fig. 11). Ainsi du 3 au 9 septembre le rayonnement solaire direct fut presque nul ce qui inhiba toutes réactions photochimiques.

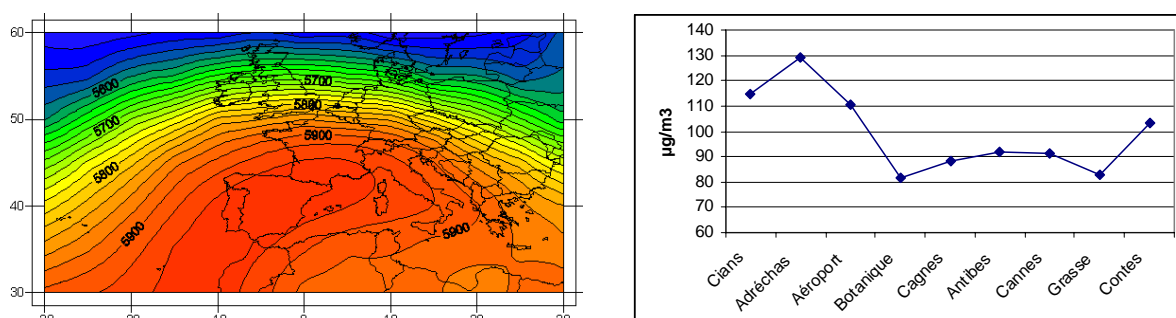


Figure 9 et 10. Configuration moyenne du géopotential 500 hPa du 3 au 5 septembre 2006 sur l'Europe et taux d'ozone associés dans 9 stations de mesure des Alpes-Maritimes.

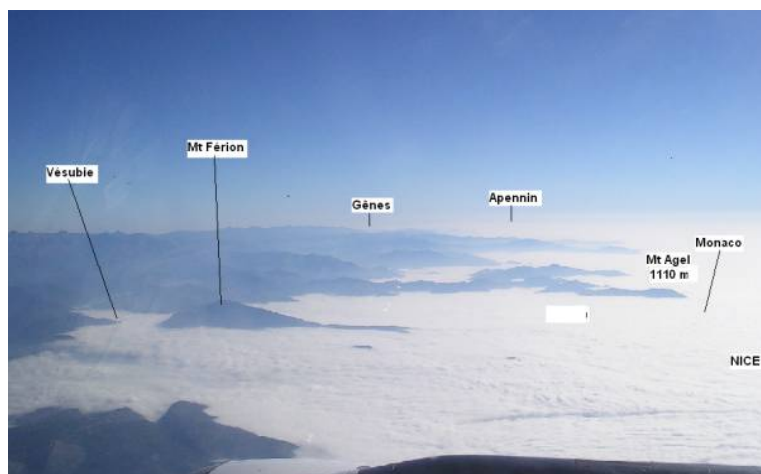


Figure 11 Photographie prise d'avion (P. Carrega) le 5 septembre 2006 à 9h30. Cette mer de nuages (strato-cumulus) se situe à moins de 1000 m d'altitude.

Les types de circulation, en relation avec la pollution par l'ozone, mis en place dans ce travail sont remis en cause par ces quelques jours du mois de septembre 2006. Cependant il serait sévère et faux de dire qu'il n'existe pas de type de circulation atmosphérique concernant la pollution de l'air ; il convient alors de nuancer notre discours. On en revient aux questions d'échelles et aux définitions épistémologiques exposées dans l'introduction de cet article. La qualité de l'air est un phénomène multi scalaire : le préalable à tout épisode photochimique est la présence de forts géopotentiels 500 hPa notamment, mais il ne suffisent pas. Il faut aussi que localement le temps réunisse les facteurs favorables. La poursuite des travaux s'oriente donc vers une échelle spatiale beaucoup plus fine afin de tenir compte des spécificités locales du temps et des espaces géographiques.

Bibliographie.

Enke, W., Schneider, F. & Deutschländer T. (2005). A novel scheme to derive optimized circulation pattern classifications for downscaling and forecast purposes, *Theoretical and Applied Climatology*, 82, 51-63.

Sheridan, S.C. (2001). The redevelopment of weather-types classification scheme for north America, *International Journal of Climatology*, 22, 51-68.11

Trigo, R.M. & DaCamara, C.C. (2000). Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal, *International Journal of Climatology*, 20, 1559-1581.

Yarnal, B. et al. (2001). Developments and prospects in synoptic climatology, *International Journal of Climatology*, 21, 1923-1950;

CNFG (2004). Les types de temps. Actes des "Journées de climatologie" de la Commission "Climat et société" du Comité national français de géographie. Textes réunis par Pierre Carrega, Vincent Dubreuil, Olivier Planchon. *Noréis* n°191, 2004-2.